

Ação Emergencial de Maceió  
Contribuições do Serviço Geológico do Brasil  
SGB / CPRM

Apresentação para a Audiência Pública na Câmara dos Deputados  
12/12/2023

Leandro Galvanese Kuhlmann  
Pesquisador em Geociências  
Superintendência Regional de São Paulo  
Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



Carreira:

Graduação em Geologia pela Universidade de São Paulo.

Mestre em Gestão de Desastres pelo Instituto Nacional de Pós Graduação em Políticas Públicas de Tóquio – GRIPS e pelo Centro Internacional de Gerenciamento de Risco e Perigo sob a chancela da UNESCO em Tsukuba - ICHARM, Japão através de programa da Agência de Cooperação Internacional do Japão - JICA.

Atualmente desenvolvendo pesquisa de doutorado na Universidade de Kobe, em Hyogo, no Japão; através do Programa de Formação de Líderes Globais para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável oferecido pela Agência de Cooperação Internacional do Japão - JICA.

No SGB/CPRM desde 2014, atuação nos projetos de Setorização de Riscos Geológicos, Cartas de Suscetibilidade a Deslizamentos e Inundações, Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização, Atendimento Emergencial em Desastres. Coordenador Executivo junto ao Departamento de Gestão Territorial de 2020 a 2022 com atuação na Ação Emergencial de Maceió e no Programa de Capacitação de profissionais de Defesa Civil.

## Atuação na Ação Emergencial de Maceió

- Coautor volume Técnico – Interferometria, 2019;
- Processamento de dados de interferometria, 2019-2020;
- Revisão literária e documental 2019 - presente;
- Grupo de debate e fechamento do Relatório Síntese n1 - 2019;
- Grupo de trabalho para redação do Relatório Síntese n1 - 2019;
- Grupo de trabalho para redação do Informe Técnico n1 & n2, 2020;
- Comitiva para apresentação no Ministério de Minas e Energia, 2019;
- Comitiva para apresentação dos resultados em audiência pública, Maceió/AL, 2019;
- Comitiva - Apresentação em audiência pública na Câmara dos Deputados 17/11/2019 - *Comissão Externa - Afundamento do Solo Em Bairros De Maceió/AL*;
- Palestrante - Apresentações ao MPF, 2019-2022;
- Palestrante - Apresentação às Forças Armadas, 2019;
- Palestrante - Apresentação ao CREA/AL, 2019
- Palestrante - Apresentação ao CONFEA/DF, 2019
- Palestrante - Simpósio de Ajuda Humanitária Exército Brasileiro, 2020
- Palestrante - Apresentação à diretoria da ANM 2019
- Palestrante - Semana de Estudos Geológicos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/RJ;
- Palestrante - Programa de Pós Graduação da Universidade Estadual de Ponta Grossa/PR, 2021;
- Palestrante - Programa de Pós Graduação da Universidade Federal Fluminense/RJ, 2020, 2021, 2022;
- Palestrante - Seminário de Arquitetura e Urbanismo como vetor de Reavivamento Espacial do CAU/AL, 2022;
- Fiscal e gestor de contratos administrativos relativos ao projeto;
- Consultoria Técnica às instituições envolvidas, em especial ao MPF;
- Reuniões Técnicas do Grupo de Trabalho com Defesa Civil Nacional, Defesa Civil Municipal e Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Rio Grande do Norte;
- Representante Institucional – Audiência Pública da Câmara dos Vereadores de Maceió/AL, 2021;
- Apoio de campo à Defesa Civil Municipal de Alagoas – atualizações do Mapa de linhas e Ações Prioritárias;
- Função de Coordenador Executivo da Ação Emergencial de Maceió, realização de capacitação junto à Defesa Civil Municipal, coordenação operacional da equipe de campo durante a execução da sondagem estratigráfica 2020-2022;
- Autor de Capítulo de livro em parceria com a Universidade Federal Fluminense (não publicado);
- Integrante da Mesa Redonda – Riscos de Desastres no CONEAGRI, Universidade Federal de Alagoas, 2023.

## Conjuntura institucional e detalhamento da fase investigativa Apresentação na Câmara dos Deputados



<https://www.youtube.com/live/XYtCMDKgDgc?si=ra4y8FoluSeDR8am&t=2586>

45m até 1h50



## Modelo conceitual e casos no mundo Apresentação junto ao CAU/AL



[https://www.youtube.com/watch?v=zF7z207mq\\_uA&t=4763s](https://www.youtube.com/watch?v=zF7z207mq_uA&t=4763s)

1h20 até 2h50



## Marcos temporais no projeto

03/2018 Primeira mobilização do SGB/CPRM

Enfoque em levantamento e análise de dados

05/2019 Divulgação do resultado do diagnóstico do processo

Enfoque em ações de resposta junto à Defesa Civil

01/2020 Primeiro acordo de realocação e compensação financeira

Enfoque em mediação científica e capacitação

06/2021 Curso de capacitação junto à Defesa Civil Municipal

Apoio e estudos sob demanda das instituições parceiras

## Registros na literatura científica de subsidência e colapso em minerações de evaporitos

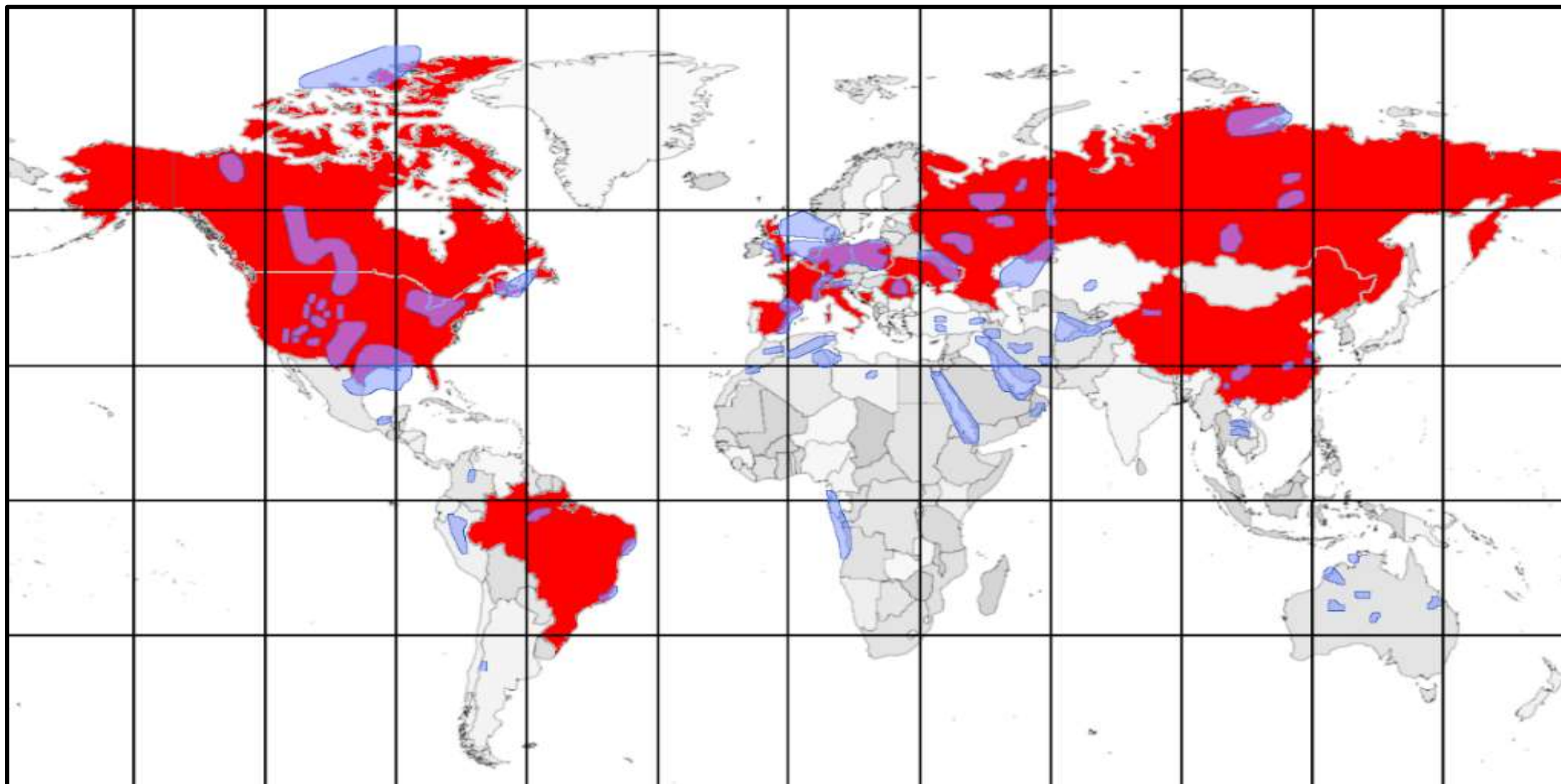
1790 – Cheshire – Inglaterra *1	1975 – Schwizerhalle – Suíça *24	1958 – Merkers – Alemanha *22	1994 – Retsoft, Nova Iorque – Estados Unidos *23
1800 - Tully Valley - Estados Unidos *21	1975 – Wartenberg – Suíça *24	1961 – Fannet, Jefferson – Estados Unidos *2	1994 – Cuylerville, Nova Iorque – Estados Unidos *15
1873 – Varangeville - França *23	1975 – Zinggibrunn-Sulz – Suíça *24	1962 – Saskatchewan, Dawson Bay - Canadá *23	1995 – Solikamsk, Montes Urais – Rússia *23
1919 – Wharton, Texas – Estados Unidos *2	1976 – Grand Saline – Estados Unidos *15	1965 – Winfield, Louisiana – Estados Unidos *2	1995 – Trona, Wyoming – Estados Unidos *23
1925 – Carey, Hutchinson, Kansas – Estados Unidos *2	1978 – Interpace, Hutchinson – Estados Unidos *2	1967 – Keil – Alemanha *2	1996 – Teutschenthal – Alemanha *23
1940 – Teutschenthal – Alemanha *23	1980 – Jefferson Island – Estados Unidos *15	1971 – Grosse Isle – Estados Unidos *15	2007 - Cerville-Buissoncourt – França *16
1942 – Brazoria, Texas – Estados Unidos *2	1982 – West Hackberry – Estados Unidos *15	1971 – Wieliczka, Polônia *25	2009 - Xinli - China *9
1949 – Blue Ridge, Texas – Estados Unidos *2	1982 – Week Islands – Estados Unidos *15	1972 – Eminence – Estados Unidos *2	2010 - Jiangxi, Huinchang - China *10
1952 – Barton, Hutchinson – Estados Unidos *2	1967 – Calcasieu Parish - Estados Unidos *2	1972 – Vendam, Nedmag – Holanda *4	2011 - Solotvyno - Ucrânia *7
1952 – Spinddletop, Jefferson, Estados Unidos *2	1982 – Bryan Mounds – Estados Unidos *15	1972 – Belle Isle, Louisiana – Estados Unidos *23	2011 - Dongxing - China *26
1952 – Plaquemines Parish – Estados Unidos *2	1984 - Belvadere di Spinello - Itália *12	1974 – Cargill , Hutchinson – Estados Unidos *15	2012 – Bayou Corne Creek – Estados Unidos *5
1954 – Windsor – Canada *2	1986 – Berezni, Perm – Rússia *22	1975 – Werra, Suena – Alemanha *23	2018 - Matarandiba - Brasil *17
1954 – Bayou Choctaw – Estados Unidos *15	1986 – Cardona – Espanha *11	1975 – Attigraben – Suíça *24	2018 - Maceió - Brasil *3
1955 – Polanco, Cantabria – Espanha *6	1991 - Ocnele Mari, Romênia *20	1975 – Margelacker – Suíça *24	2021 - Wapno - Polônia *8
1956 – Tuzla – Bosnia e Herzegovina *14	1993 – Vaulvert – França *19	1975 – Lachmatt – Suíça *24	

## Referências Bibliográficas

- \*1 Bell, F. G. (1975) Salt and Subsidence in Cheshire, England. *Engineering Geology*, Volume 9, 1975, pp. 237-247. ISSN 0013-7952. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(75\)90002-2](https://doi.org/10.1016/0013-7952(75)90002-2).
- \*2 Coates, G.K.; Lee, C.A.; McClain, W.C.; Senseny, P.E. (1981). Failure of man-made cavities in salt and surface subsidence due to sulfur mining. RE/SPEC, Inc., P.O. Relatório Técnico para o Departamento de Energia dos Estados Unidos.
- \*3 CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2019). Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL): volume I, relatório síntese dos resultados n. 1. Brasília: CPRM.
- \*4 Hansen, R. F. (2013). Salt Mining Deformation Veendam. Delft Institute of Earth Observation and Space Systems. Delft University of Technology.
- \*5 Hecox, G. R. (2013). Bayou Corne Cavern Collapse Technical Status Update. Relatório Técnico.
- \*6 Heras, J. G.; Veja, J. A. R. (1999) Dissolution Mining and Environmental Effects in Polanco (Cantabria – Spain). Congresso de 1999, International Mine Water Association. Sevilla, Espanha.
- \*7 Johnson, K. S. (2005) Subsidence hazards due to evaporite dissolution in the United States. *Environmental Geology* 48:395–409.
- \*8 Kim, Thi Thu Huong & Tran, Hong Ha & Bui, Luyen & Lipecki, Tomasz. (2021). Mining-induced Land Subsidence Detected by Sentinel-1 SAR Images: An Example from the Historical Tadeusz Kościuszko Salt Mine at Wapno, Greater Poland Voivodeship, Poland. *Inzynieria Mineralna*. 2. 41-52. [10.29227/IM-2021-02-04](https://doi.org/10.29227/IM-2021-02-04).
- \*9 Li X, F.; Xu B. G.; Tang, S.H. (2009) Research on ground subsidence mechanism of solution mining by drilling and control counter measure. *J Safety Sci Technol* 5(1):131–134. Apud: Zhang, G., Wang, Z., Wang, L. et al. Mechanism of collapse sinkholes induced by solution mining of salt formations and measures for prediction and prevention. *Bull Eng Geol Environ* 78, 1401–1415 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1173-6>
- \*10 Long H. R.; Lin, Z. S. (2011). Surface sinkhole of Jiangxi Huichang is to salt mining. *Chinese land resources report*. Apud Zhang, G., Wang, Z., Wang, L. et al. Mechanism of collapse sinkholes induced by solution mining of salt formations and measures for prediction and prevention. *Bull Eng Geol Environ* 78, 1401–1415 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1173-6>
- \*11 Lucha, P.; Cardona, F.; Gutierrez, F.; Guerrero, J. (2008) Natural and human-induced dissolution and subsidence processes in the salt outcrop of the Cardona Diapir (NE Spain). *Environmental Geology* 53, 1023–1035 (2008). <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0729-3>
- \*12 Gisotti, G. (1992). Problemi geo-ambientali inerenti la miniera di salgemma di Belvedere Spinello (Catanzaro). Un nuovo caso di subsidenza in Italia *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*. 42: 283- 306.

- \*13 Guerricchio, A. (1989). Lo sprofondamento della collina di Timpa del Salto a Belvedere Spinello (CZ). Un esempio di impatto ambientale da attività mineraria. *Geol Appl Idrogeol* 24:27–54. Apud: Zhang, G., Wang, Z., Wang, L. et al. Mechanism of collapse sinkholes induced by solution mining of salt formations and measures for prediction and prevention. *Bull Eng Geol Environ* 78, 1401–1415 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1173-6>
- \*14 Mancini, F.; Stecchi, M.; Zanni, G. Gabbianelli (2009). Monitoring ground subsidence induced by salt mining in the city of Tuzla (Bosnia and Herzegovina). *Environmental Geology* 58, 381–389 (2009). <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1597-1>
- \*15 Martinez, J. D.; Johnson, K. S.; Neal, J. T. (1998). Sinkholes in Evaporite Rocks: Surface subsidence can develop within a matter of days when highly soluble rocks dissolve because of either natural or human causes. *American Scientist*, 86(1), 38–51. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/27856935>
- \*16 Mercerat, E. D.; Driad-Lebeau, L.; Bernard, P. (2010). Induced Seismicity Monitoring of an Underground Salt Cavern Prone to Collapse. *Pure Appl. Geophys.* 167, 5–25 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00024-009-0008-1>
- \*17 Minkley, W. (2018). Expert Judgement Sinkhole over Solution-Mined Cavern Field Dow Brazil S/A Mineracao. Tech. rep. unpublished. IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH. In: Minkley W.; Ludeling, C.; Bruckner, D. (2021). Cavern Field Maceió: 2D Discontinuous Models and Geomechanical Process Understanding. B IfG 41/2019. Relatório Técnico. Processo mineral 006648, Agência Nacional de Mineração.
- \*18 Neal, J. T. (1991) Prediction of subsidence resulting from creep closure of solution-mined caverns in salt domes. Disponível em: <https://www.osti.gov/servlets/purl/6239613>.
- \*19 Raucoules, D.; Maisons, C.; Carnec, C.; Le Mouelic V.; King, C.; Hosford, S. (2003). Monitoring of slow ground deformation by ERS radar interferometry on the Vauvert salt mine (France) Comparison with ground-based measurement.
- \*20 Trifu, A.C.; Shumila V. (2009) Microseismic Monitoring of a Controlled Collapse in Field II at Ocnele Mari, Romania. *Pure and Applied Geophysics.* 167, 27–42. <https://doi.org/10.1007/s00024-009-0013-4>
- \*21 Velasco, V.; Sanchez C.; Papoutsis, I.; Antoniadis, S.; Kontoes, C.; Aifantopoulou, D.; Paralykidis, S. (2017). Ground deformation mapping and monitoring of salt mines using InSAR technology. SMRI Fall 2017 Technical Conference. Münster, Germany
- \*22 Vigna B, Fiorucci A, Banzato C, Forti P, De Waele J (2010) Hypogene gypsum karst and sinkhole formation at Moncalvo (Asti, Italy). *Z Geomorphol* 54(S2):285–308
- \*23 Whyatt, J and Varley, F. (2008) Catastrophic Failures of Underground Evaporite Mines. NIOSH - Spokane Research Laboratory, USA. Proceedings of the 27th International Conference on Ground Control in Mining.
- \*24 Zechner, E. ;Konz, M. ;Younes, A.; Huggenberger, P. (2011). Effects of tectonic structures, salt solution mining, and density-driven groundwater hydraulics on evaporite dissolution. *Hydrogeol Journal* 19, 1323–1334 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0759-5>
- \*25 Perski, Z.; Hanssen, R.; Wojcik, A.; Wojciechowski, T. (2009). InSAR analyses of terrain deformation near the Wieliczka Salt Mine, Poland. *Engineering Geology*, Volume 106, 1–2, pg 58-67. ISSN 0013-7952. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.02.014>.

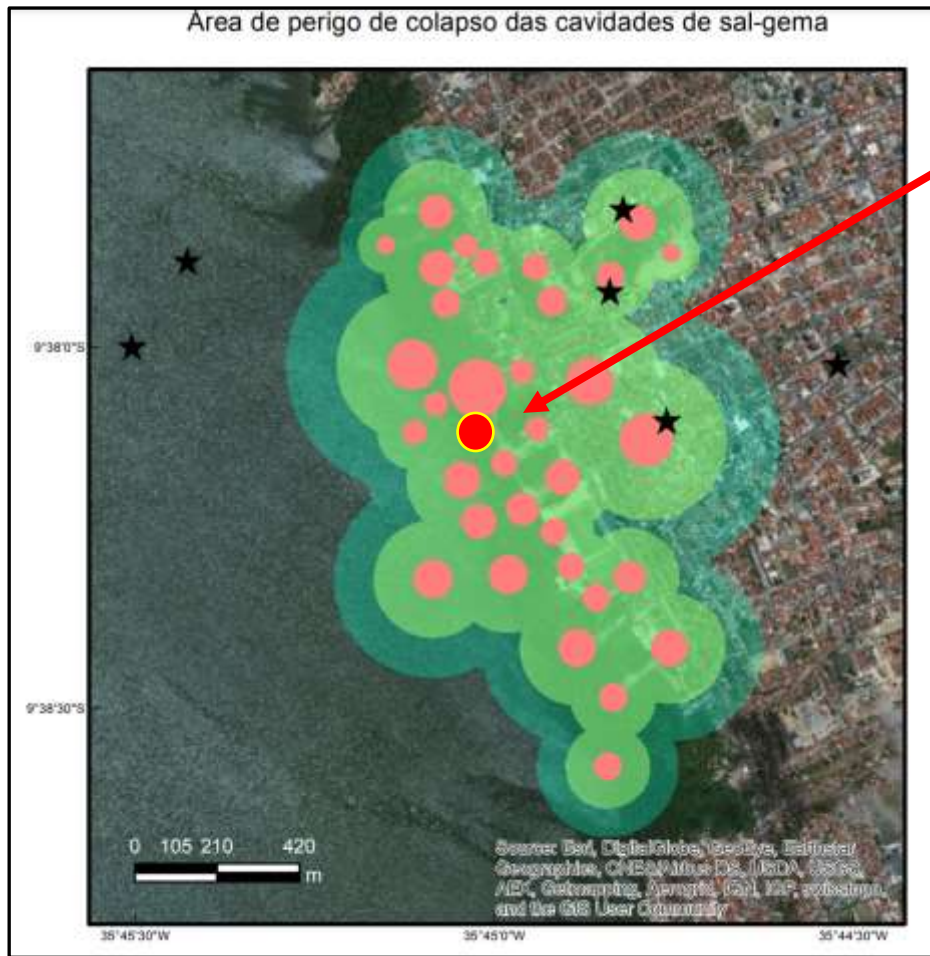




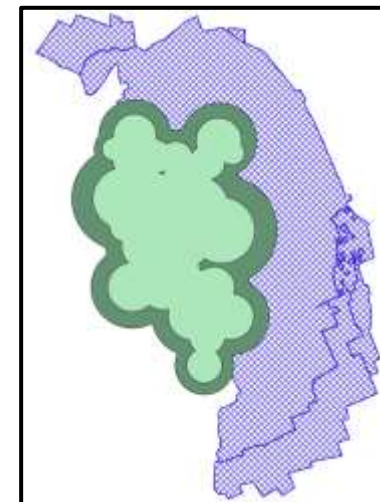
Registros literários de subsidência e colapso (em vermelho, tabela anterior) vs depósitos conhecidos de sal (em azul, Folle, 2008). Elaboração própria.

Folle, Stefan. (2008). Salt Structures - Exploration and Limits of Interpretation.

# Mapa Síntese dos processos – SGB/CPRM – 2019



Mina 18



O Apêndice C do Relatório Síntese n1 publicado pelo SGB/CPRM em maio de 2019 apresentou a primeira proposta de áreas de risco de colapso.

Comparativo entre a projeção de 5 vezes o raio sugerida em 2019 (verde) e a área do Mapa de Linhas e Ações Prioritárias n5 de 2023 (azul).

Processos primários são decorrentes das atividades de mineração.

Processos secundários são decorrentes dos processos primários e suas interferências com o meio e suas vulnerabilidades.

## Processos primários

- Subsidência (afundamento “lento” de uma área grande)

cm/ano

km<sup>2</sup>

- Colapso (afundamento rápido de uma área “pequena”)

m/s

dm<sup>2</sup>-hm<sup>2</sup>

## Processos secundários

- Tremores de terra
- Alagamento permanente
- Fissuras no solo por tração
- Deformação por enrugamento do solo
- Danos em edificações e estruturas
- Recalque diferencial
- Erosão nas fissuras
- Erosão interna por conexão com sistemas de drenagem anteriores ou fissuras
- Fluxo de detritos pós colapso

## Comunicação em massa: um desafio permanente



Ao longo dos anos houveram uma série de tentativas de representação dos processos e esclarecimento da população.

## Considerações finais

- A área de influência deve permanecer em monitoramento;
- O processo é dinâmico, mesmo as minas que foram estabilizadas por pressurização podem vir a se desestabilizar, portanto devem ser monitoradas;
- As minas preenchidas com areia passam por um curto período em que se deformam, depois atingem estabilidade permanente;
- Para cinco minas, a hipótese prevalente entre as instituições é de “preenchimento natural”, como não houve até o momento comprovação da hipótese, o princípio da precaução sugere a continuidade do monitoramento, como vem sendo feito.

Educação executiva em Gestão do Risco e Resposta a Desastres

Parceria do Serviço Geológico do Brasil e Fundação Getúlio Vargas

The screenshot displays the FGV (Fundação Getúlio Vargas) website interface. At the top, there is a navigation bar with the FGV logo and 'EDUCAÇÃO EXECUTIVA'. Below this, a dark blue header contains menu items: 'MBA & PÓS-GRADUAÇÃO', 'CURTA & MÉDIA DURAÇÃO', 'ALTA GESTÃO', 'PROGRAMAS INTERNACIONAIS', and 'EXPLORAR'. A search icon and 'BUSCAR' text are also present. The main content area features a large blue banner for the course 'Políticas Públicas de Gestão de Risco e Resposta a Desastres em Nível Municipal'. It includes the text '1.082 pessoas já fizeram esse curso' and a rating of '4.9 ★★★★★ 309 avaliações'. A 'COMPARTILHAR' section with social media icons (Facebook, Twitter, LinkedIn, WhatsApp) is visible. Below this, a box indicates 'Carga Horária: 8 h' and 'Modalidade: Online', followed by a prominent orange 'INSCREVA-SE' button. At the bottom of the banner, there are links for 'PROGRAMA', 'PÚBLICO-ALVO', 'CERTIFICADO', 'PROCESSO SELETIVO', and 'CONTATO'. A footer section highlights 'ONLINE' with the text 'Cursos focados na interação e flexibilidade, para você estudar quando e onde quiser.' and a link 'Saiba mais sobre a modalidade ->'. The overall design is clean and professional, using a color palette of blues, greys, and oranges.

Online e gratuito



<https://educacao-executiva.fgv.br/cursos/online/curta-media-duracao-online/politicas-publicas-de-gestao-de-risco-e-resposta-desastres-em-nivel-municipal>



Leandro Galvanese Kuhlmann  
Pesquisador em Geociências  
Superintendência Regional de São Paulo  
Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial  
leandro.kuhlmann@sgb.gov.br

Serviço Geológico do Brasil  
Serviço de atendimento ao público  
seus@sgb.gov.br

Conjuntura institucional  
e estudos  
desenvolvidos  
Apresentação na  
Câmara dos Deputados



<https://www.youtube.com/live/XYtCMDKgDgc?si=ra4y8FoluSeDR8am&t=2586>

Modelo conceitual e  
casos no mundo  
Apresentação junto  
ao CAU/AL



[https://www.youtube.com/watch?v=zF7z207mq\\_uA&t=4763s](https://www.youtube.com/watch?v=zF7z207mq_uA&t=4763s)

Formação Executiva  
em Gestão de  
Desastres  
SGB/CPRM & FGV



<https://educacao-executiva.fgv.br/cursos/online/curta-media-duracao-online/politicas-publicas-de-gestao-de-risco-e-resposta-desastres-em-nivel-municipal>



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

